

5 Análise dos Resultados

Neste capítulo, os resultados obtidos pelos métodos MPS e SPH serão analisados. Num primeiro momento, será realizada uma análise de acurácia entre os métodos MPS e SPH tendo como base o método VOF. Em seguida, será apresentada uma análise de eficiência entre os métodos MPS e SPH. Por fim, será analisada a influência do número de partícula na solução dos problemas.

5.1. Análise de Acurácia entre os Métodos MPS e SPH

A análise de acurácia entre os métodos MPS e SPH foi realizada com base nos problemas de quebra de barragem e de descarga de água. O problema do tubo de choque e o escoamento laminar viscoso em uma cavidade quadrada foram resolvidos apenas pelo método SPH, pois o método MPS aqui implementado não foi capaz de resolver os mesmos. Porém, isto não significa que o método MPS seja incapaz de solucionar esses problemas.

Os resultados obtidos pelo método SPH na simulação dos problemas de tubo de choque e do escoamento laminar em uma cavidade quadrada foram bastante satisfatórios. Desta forma, verifica-se que o método SPH é capaz de simular problema de fluido compressível não viscoso e escoamentos de fluido incompressível e viscoso, enquanto que o método MPS aqui implementado só é capaz de simular problemas de fluido incompressível com a presença de superfície livre.

Desta forma, a análise de acurácia entre os métodos MPS e SPH fará referência aos escoamentos com a presença de superfície livre. Num primeiro momento, será analisado o problema de quebra de barragem.

A comparação de acurácia entre os métodos será realizada tendo como referência o método VOF. Por este motivo, o presente estudo fez uso do *software* Fluent® para simular este problema. Na Figura 27, está apresentada a malha e a representação da coluna de fluido do problema de quebra de barragem. Cabe

ressaltar que a geometria e as propriedades físicas do problema são as mesmas utilizadas nas simulações com os métodos MPS e SPH.

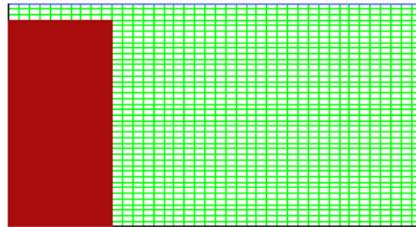


Figura 27 – Malha usada pelo Fluent na simulação do problema de quebra de barragem.

Na Figura 28, estão apresentados os resultados das simulações utilizando os três métodos. Analisando-se a Figura 28, verifica-se que os resultados obtidos pelos métodos MPS e SPH apresentam boa concordância, quando comparados qualitativamente com os resultados obtidos pelo método VOF.

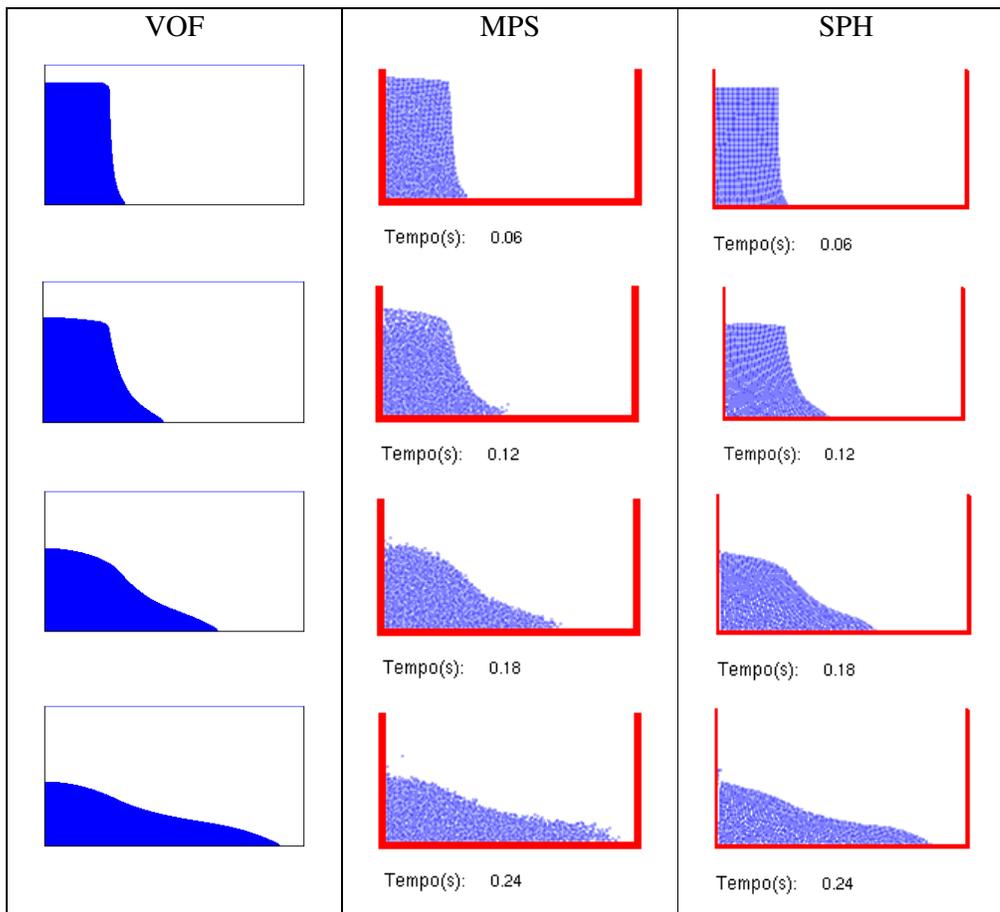


Figura 28 – Comparação entre os métodos VOF, MPS e SPH no problema de quebra de barragem.

Para uma melhor avaliação dos resultados obtidos, foi realizada a comparação da frente do escoamento (*leading edge* – Koshizuka e Oka, 1996) antes do mesmo atingir a parede vertical da direita, conforme apresentado na Figura 29.

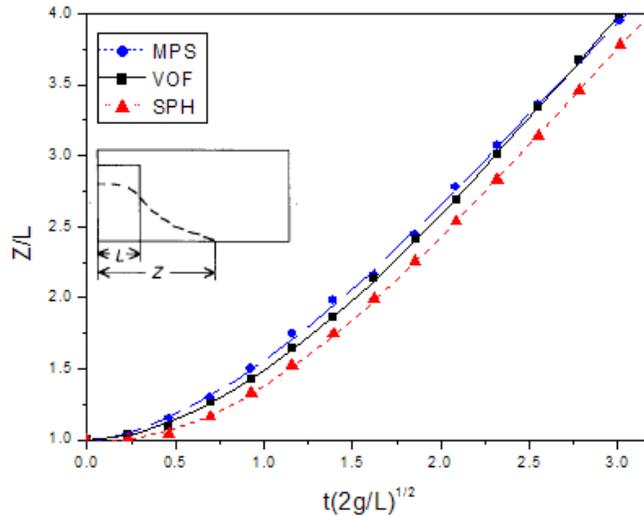


Figura 29 – Movimentação da frente do escoamento no problema de quebra de barragem. Neste gráfico estão apresentados os pontos e o ajuste dos mesmos em um polinômio de terceiro grau. Os símbolos g e t representam a aceleração da gravidade e o tempo, respectivamente.

Analisando-se a Figura 29, verifica-se que o resultado da simulação do escoamento pelo método MPS está, em alguns momentos, um pouco adiantado em relação ao resultado obtido pelo método VOF. Em contrapartida, o método SPH apresenta um escoamento atrasado em relação ao método VOF. Porém, verifica-se que tanto o método MPS quanto o método SPH apresentaram boa concordância quando comparados ao método VOF.

Com base nos resultados apresentados na Figura 28 e na Figura 29, pode-se dizer que ambos os métodos são capazes de simular o problema de quebra de barragem. Entretanto, o método MPS apresentou um melhor resultado nessa simulação, pois, pela Figura 29, percebe-se uma maior concordância entre as curvas do método MPS e do método VOF.

Em relação à fragmentação do fluido quando o escoamento atinge a parede vertical da direita, percebe-se claramente a maior capacidade do método MPS na representação deste fenômeno (Figura 30). Neste ponto, o método SPH apresenta uma melhor concordância com o método VOF, o que não deve ser considerado

como vantagem, já que o método VOF não é capaz de representar o fenômeno de fragmentação do fluido.

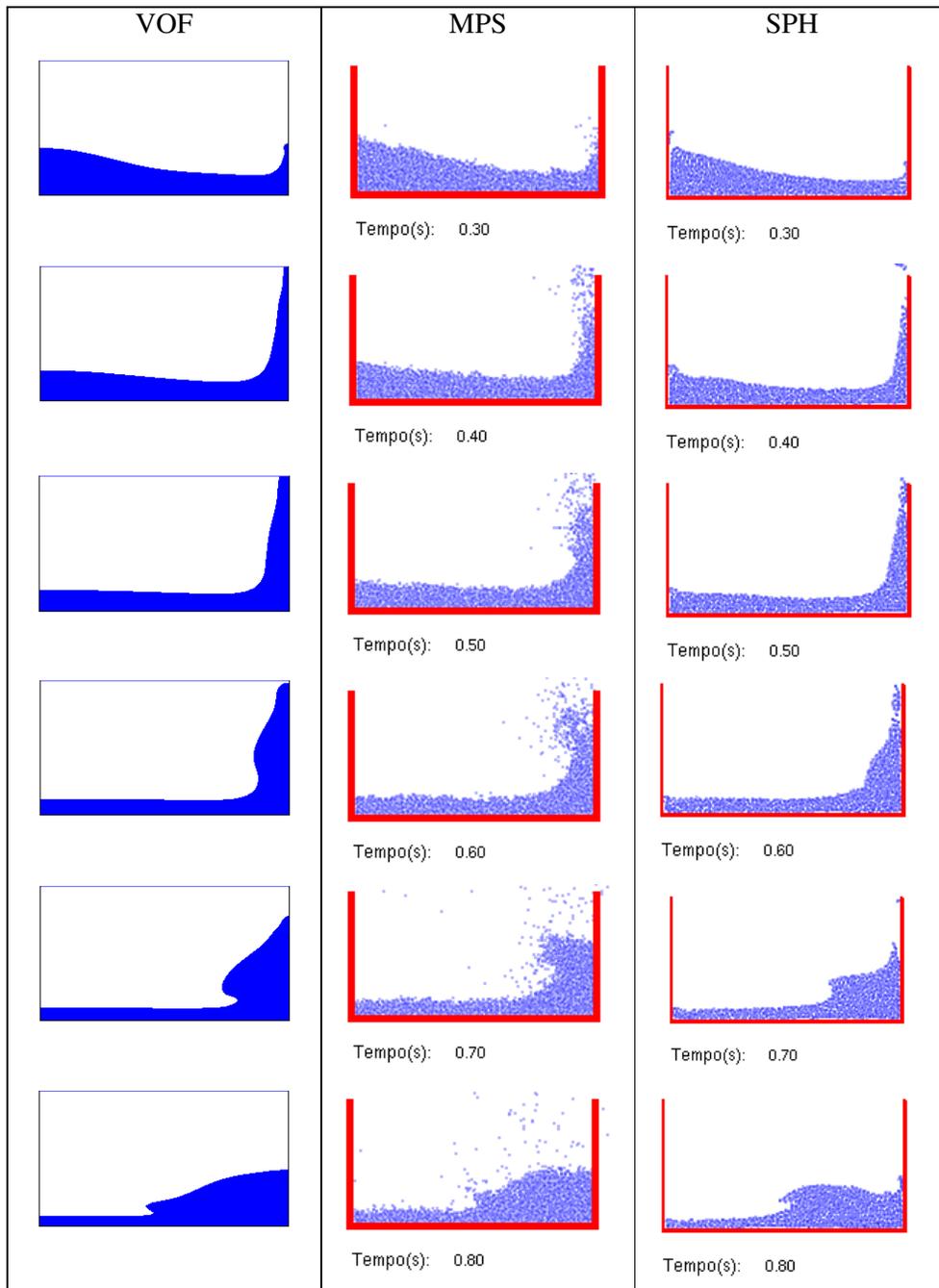


Figura 30 – Comparação entre os métodos VOF, MPS e SPH no problema de quebra de barragem após o fluido encontrar a parede vertical da direita.

Por fim, a Figura 31 apresenta os resultados experimentais obtidos por Koshizuka e Oka (1996), bem como os resultados obtidos pelos métodos MPS e SPH na simulação do problema de quebra de barragem. Analisando-se a Figura

31, verifica-se uma boa concordância dos resultados obtidos utilizando-se os métodos MPS e SPH com o experimento realizado por Koshizuka e Oka (1996).

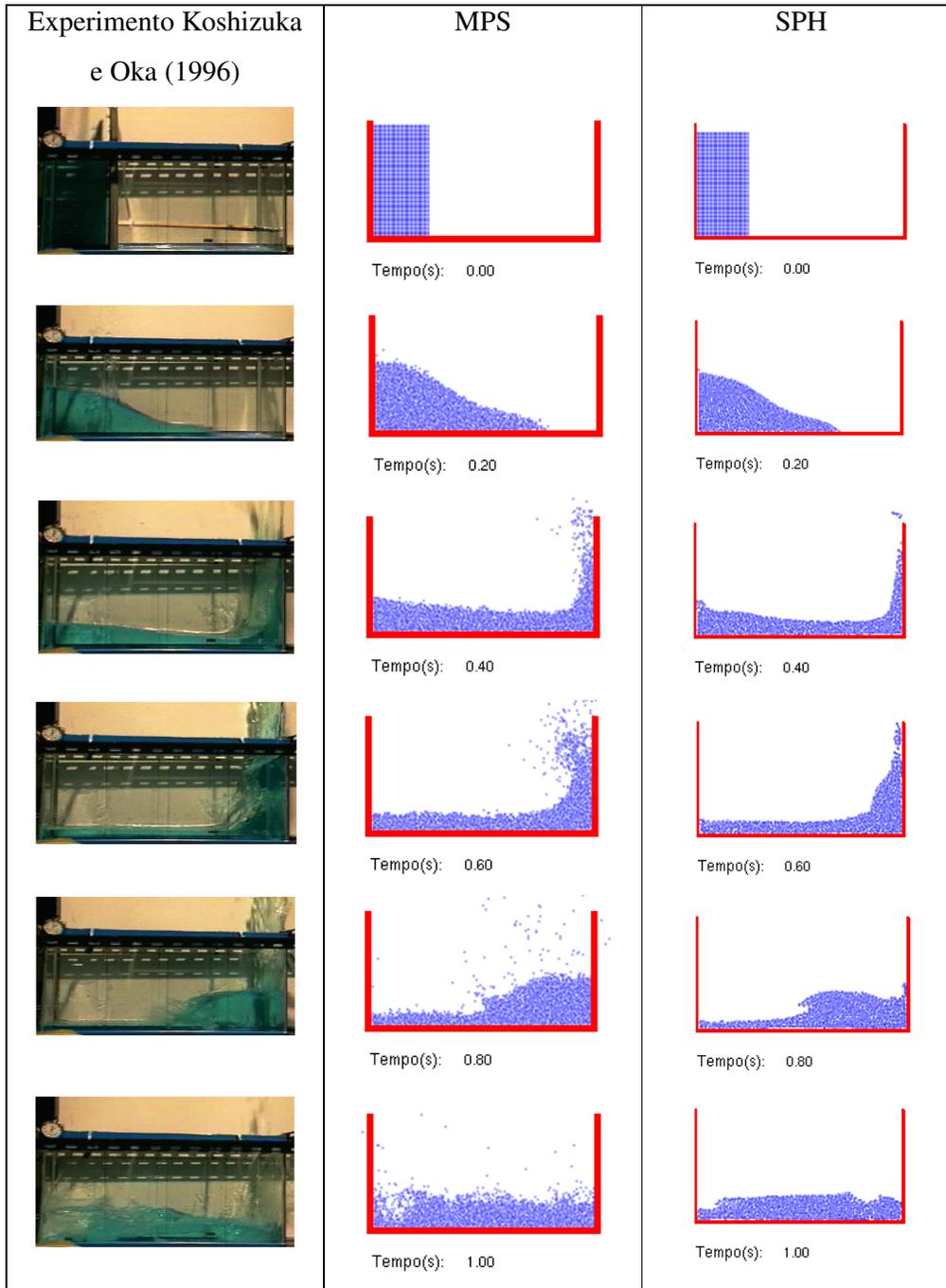


Figura 31 – Comparação dos resultados obtidos com os métodos MPS e SPH na simulação do problema de quebra de barragem com o experimento realizado por Koshizuka e Oka (1996).

A seguir, será realizada uma análise nos resultados obtidos na simulação do problema de descarga de água. A Figura 32 apresenta a malha e a representação

da coluna de fluido usada pelo *software* Fluent® para a simulação desse problema pelo método VOF.

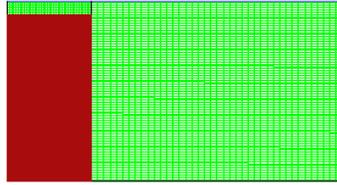


Figura 32 – Malha usada pelo Fluent para o problema de descarga de água.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0621124/CA

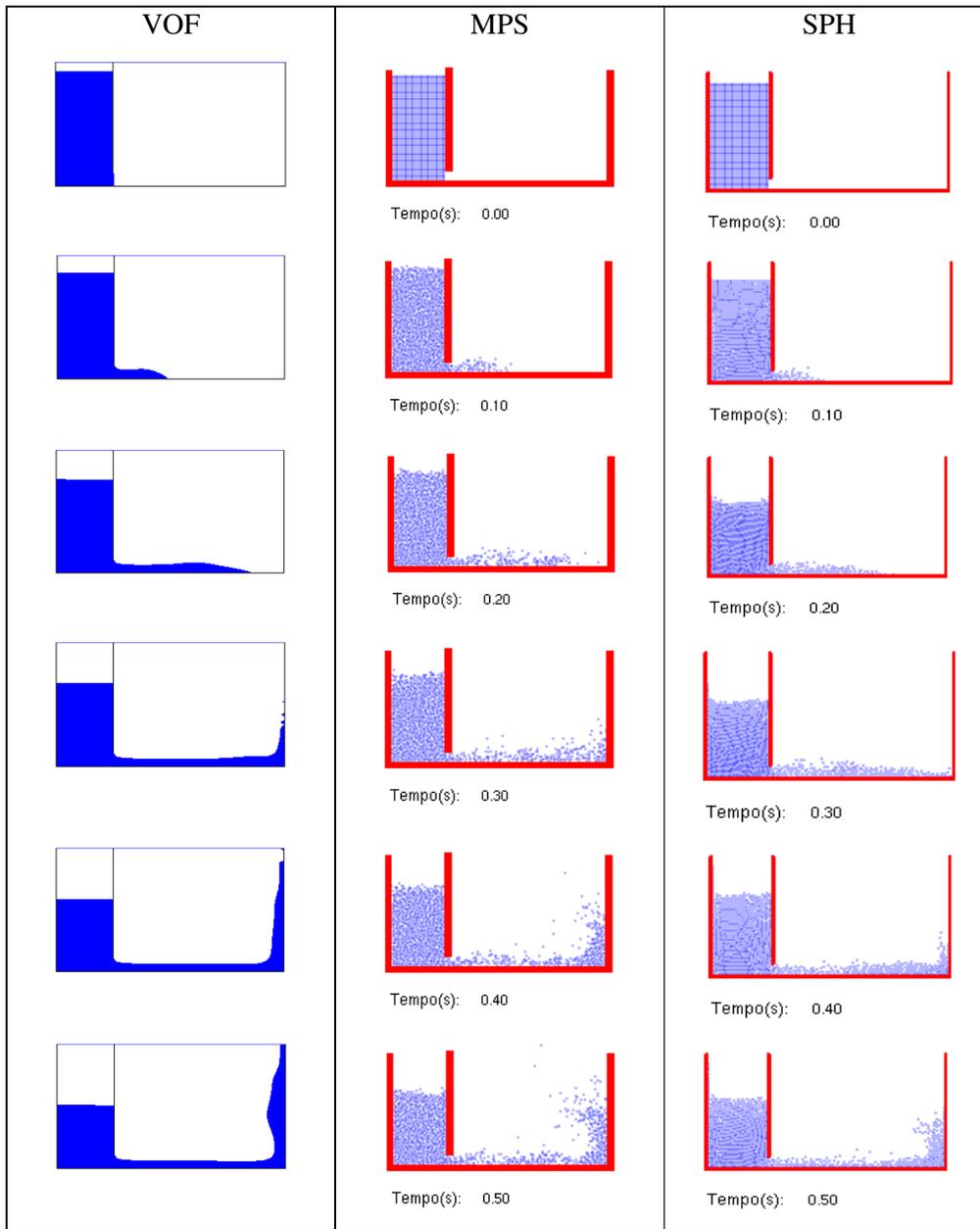


Figura 33 - Comparação entre os métodos VOF, MPS e SPH no problema de descarga de água.

Na Figura 33, estão apresentados os resultados das simulações do problema de descarga de água utilizando os três métodos. Analisando-se a Figura 33, observa-se que os resultados obtidos pelos métodos MPS e SPH são semelhantes aos resultados obtidos pelo método VOF. Entretanto, algumas diferenças em relação ao nível de água no interior da comporta bem como no formato do escoamento quando o mesmo atinge a parede vertical da direita foram observados.

A Figura 34 e a Figura 35 ilustram a variação do nível no interior da comporta e a posição da frente do escoamento, respectivamente. Na Figura 34, pode-se observar as diferenças em relação ao nível no interior da comporta. Utilizando-se o método VOF como referência, percebe-se que o método SPH modela este problema com boa acurácia até um determinado ponto. Após esse ponto, o nível no interior da comporta decresce rapidamente. Em relação ao resultado obtido pelo método MPS, observa-se um comportamento semelhante ao obtido pelo método VOF, mas com uma diferença entre os níveis. Entretanto, não ocorreu uma queda acentuada do nível no interior da comporta. Já na Figura 35, pode-se observar que os resultados obtidos tanto pelo método MPS quanto pelo método SPH, na movimentação da frente do escoamento, apresentaram boa concordância em relação aos resultados obtidos pelo método VOF.

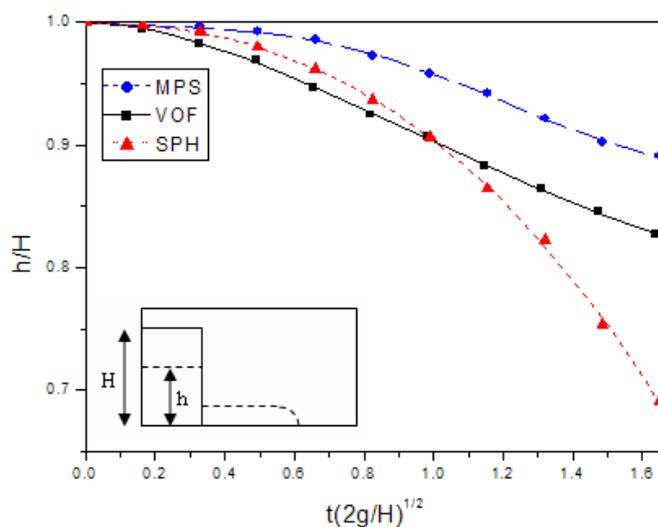


Figura 34 – Variação do nível no interior da comporta no problema de descarga de água. Neste gráfico estão apresentados os pontos e o ajuste dos mesmos em um polinômio de quarto grau. Os símbolos g e t representam a aceleração da gravidade e o tempo, respectivamente.

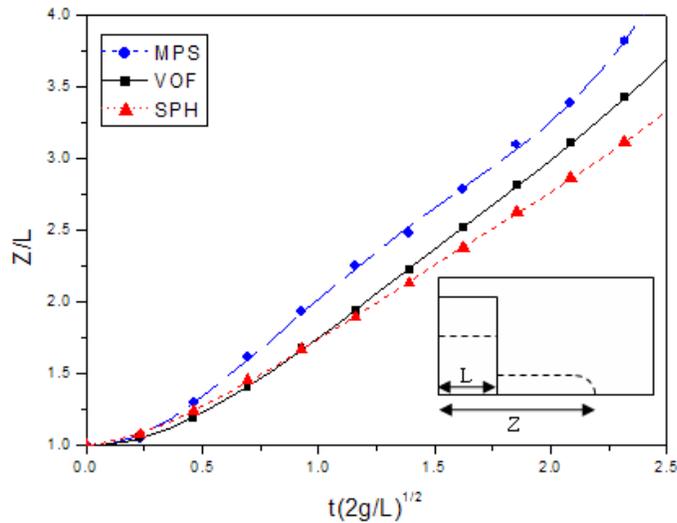


Figura 35 – Movimentação da frente do escoamento no problema de descarga de água. Neste gráfico estão apresentados os pontos e o ajuste dos mesmos em um polinômio de quarto grau. Os símbolos g e t representam a aceleração da gravidade e o tempo, respectivamente.

Com os resultados aqui apresentados, pode-se afirmar que tanto o método MPS quanto o método SPH foram capazes de simular com boa acurácia os problemas de quebra de barragem e de descarga de água. Porém, melhores resultados foram obtidos na simulação do problema de quebra de barragem.

5.2. Análise de Eficiência entre os Métodos MPS e SPH

Nesta seção, será realizada uma análise de eficiência entre os métodos MPS e SPH. A análise foi realizada determinando-se o tempo total de processamento no problema de quebra de barragem, com tempo total de simulação igual a um segundo, em função do número de partículas. Para realizar esta análise, foi utilizado um computador Pentium 4 (3.00 GHz) com 2GB de memória RAM.

A Figura 36 apresenta a variação do tempo total de processamento em função do número de partículas de fluido. Percebe-se que o método MPS apresenta um custo computacional mais elevado, pois o mesmo precisa resolver um sistema linear algébrico, formado pela equação de Poisson de pressão, para cada passo de tempo. Já no método SPH, a pressão de cada partícula é

determinada através de uma equação de estado, permitindo assim um menor custo computacional.

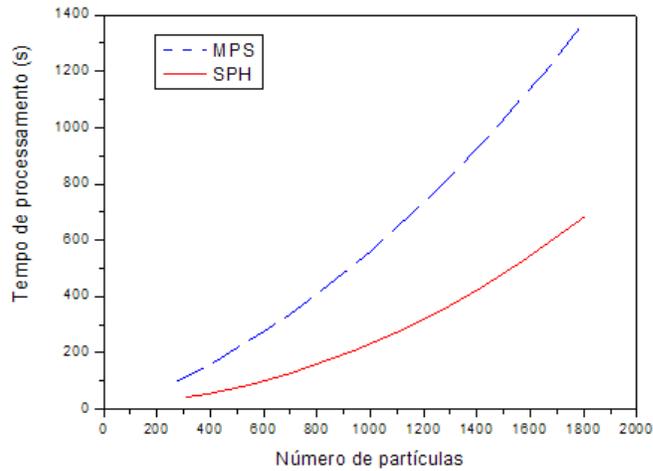


Figura 36 – Análise do custo computacional em função do número de partículas de fluido dos métodos MPS e SPH. O tempo total da simulação do problema foi de um segundo.

As curvas apresentadas na Figura 36 foram obtidas através do ajuste dos pontos em um polinômio de segunda ordem. Este foi um bom ajuste encontrado para os pontos ($R = 0,99985$ para o método MPS e $R = 0,9999$ para o método SPH) e já era esperado, pois, como não foi implementado nenhum método para acelerar a determinação da vizinhança, o tempo de processamento é da ordem de N^2 , onde N denota o número de partículas.

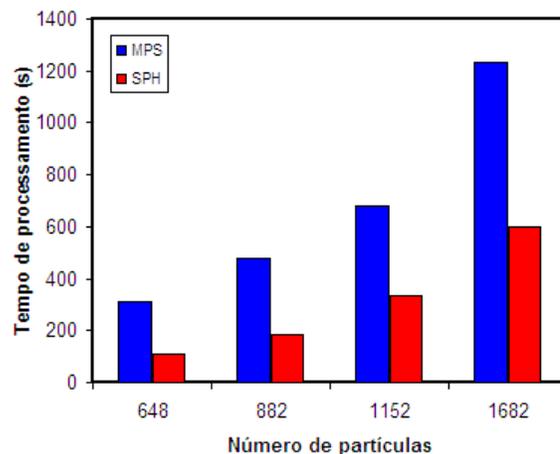


Figura 37 – Gráfico em barras da variação do tempo total de processamento em função do número de partículas de fluido na simulação do problema de quebra de barragem pelos métodos MPS e SPH. As simulações foram realizadas com 648, 882, 1152 e 1682 partículas de fluido.

A Figura 37 apresenta o gráfico de barras do tempo total de processamento em função do número de partículas. A partir da análise desse gráfico, pode-se observar que o método SPH utiliza menos da metade do tempo gasto pelo método MPS para simular o mesmo problema.

5.3. Influência do Número de Partículas na Solução

A análise da influência do número de partículas na solução foi realizada tendo-se como base o problema de quebra de barragem, já que a simulação do mesmo apresentou os melhores resultados. A Tabela 6 apresenta as quantidades de partículas de fluido, em função dos valores de espaçamento inicial entre as partículas, que foram utilizadas nesta análise.

Espaçamento inicial entre as partículas (l_0)	Número de partículas de fluido
0,5 cm	1682
0,6 cm	1152
0,7 cm	882
0,8 cm	648

Tabela 6 – Número de partículas de fluido em função do espaçamento inicial entre as partículas (l_0).

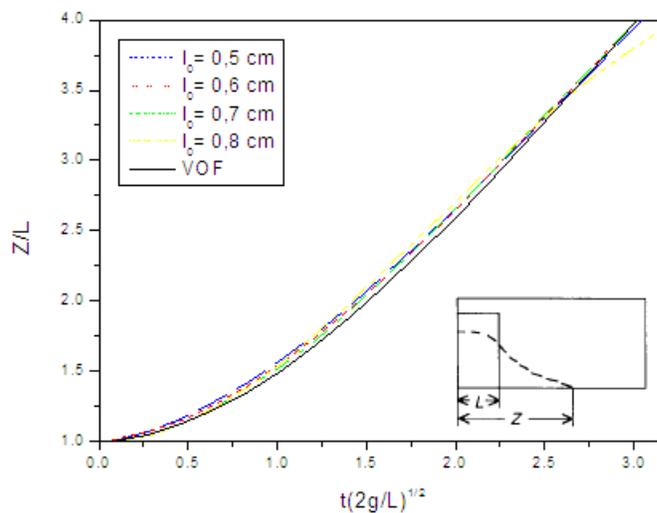


Figura 38 – Influência do número de partículas na solução do problema de quebra de barragem utilizando-se o método MPS. As curvas representam o ajuste dos pontos em um polinômio de terceiro grau.

A Figura 38 apresenta os resultados das simulações utilizando-se o método MPS. Analisando-se a Figura 38, percebe-se que os resultados obtidos para os espaçamentos testados são bastante semelhantes, sendo que a maior divergência, em relação ao resultado obtido pelo método VOF, foi observada para o espaçamento inicial entre as partículas de 0,8 cm.

A Figura 39 apresenta uma comparação entre os resultados obtidos, para os diversos espaçamentos iniciais testados, a partir do momento em que o escoamento atinge a parede vertical da direita.

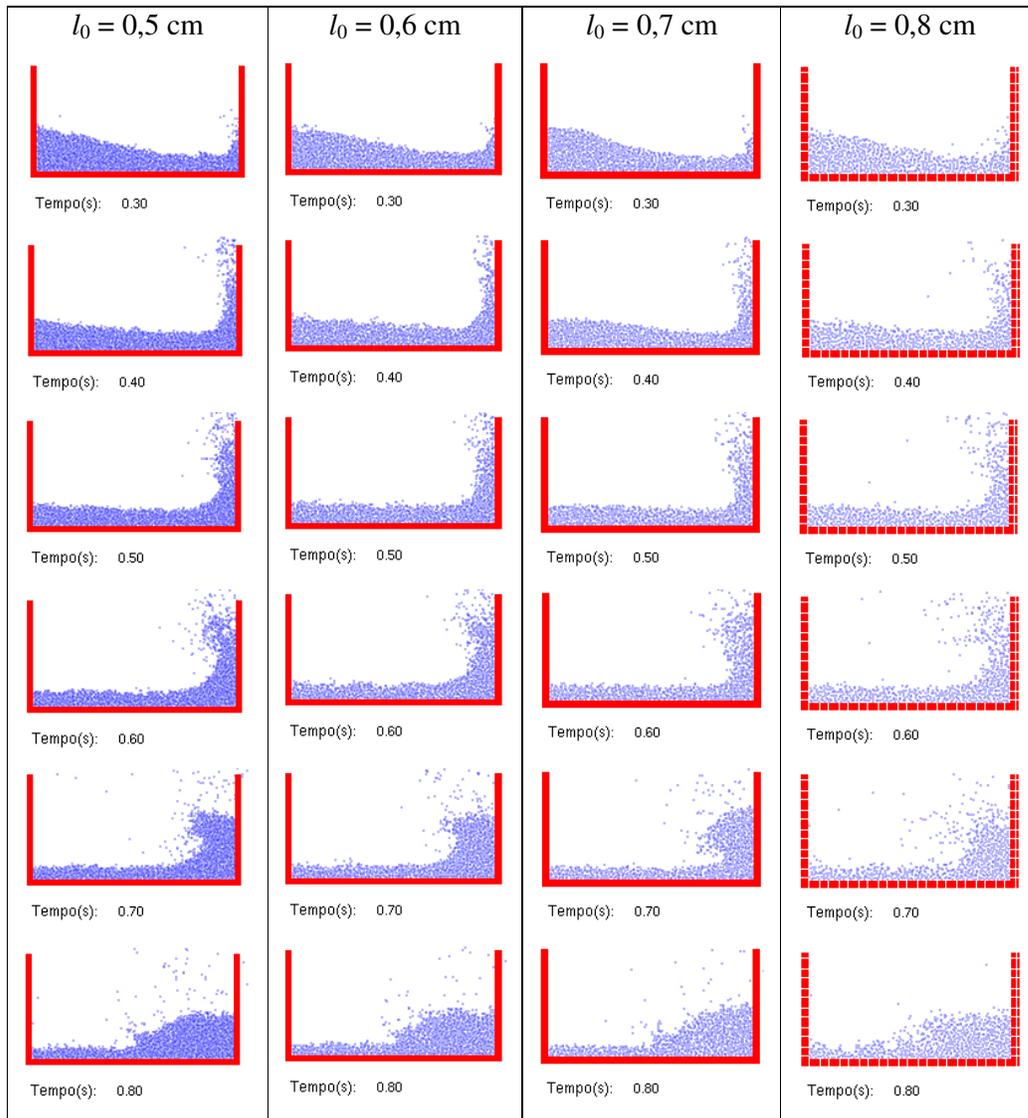


Figura 39 – Influência do número de partículas na simulação do problema de quebra de barragem utilizando-se o método MPS. O escoamento já atingiu a parede vertical da direita.

Analisando-se a Figura 39, percebe-se que o resultado mais realista foi obtido para o menor valor de espaçamento inicial. Porém, bons resultados também foram obtidos para os outros espaçamentos testados.

A Figura 40 apresenta os resultados das simulações, para os espaçamentos citados, utilizando-se o método SPH. Analisando-se a Figura 40, percebe-se que quanto menor o espaçamento inicial entre as partículas, melhor é a solução, quando comparada com a solução obtida pelo método VOF. Além disso, fica claro que a influência do número de partículas na solução é maior para o método SPH.

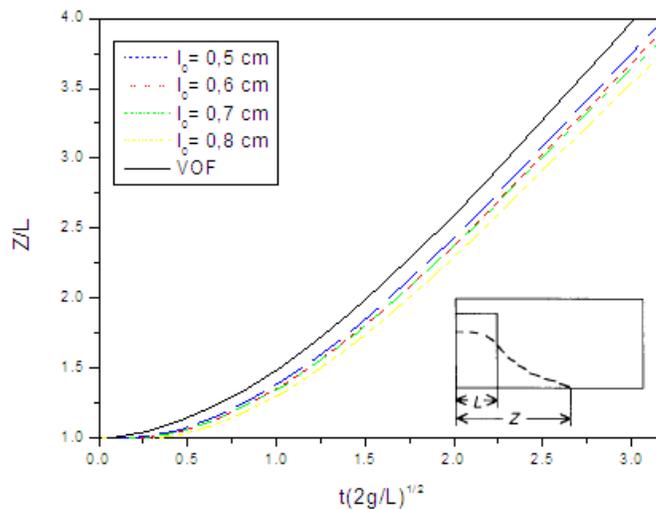


Figura 40 – Influência do número de partículas na solução do problema de quebra de barragem utilizando-se o método SPH. As curvas representam o ajuste dos pontos em um polinômio de terceiro grau.

A Figura 41 apresenta os resultados obtidos após o escoamento atingir a parede vertical da direita. Analisando-se a Figura 41, percebe-se que o resultado mais realista foi obtido para o menor valor de espaçamento inicial, corroborando os resultados apresentados na Figura 40.

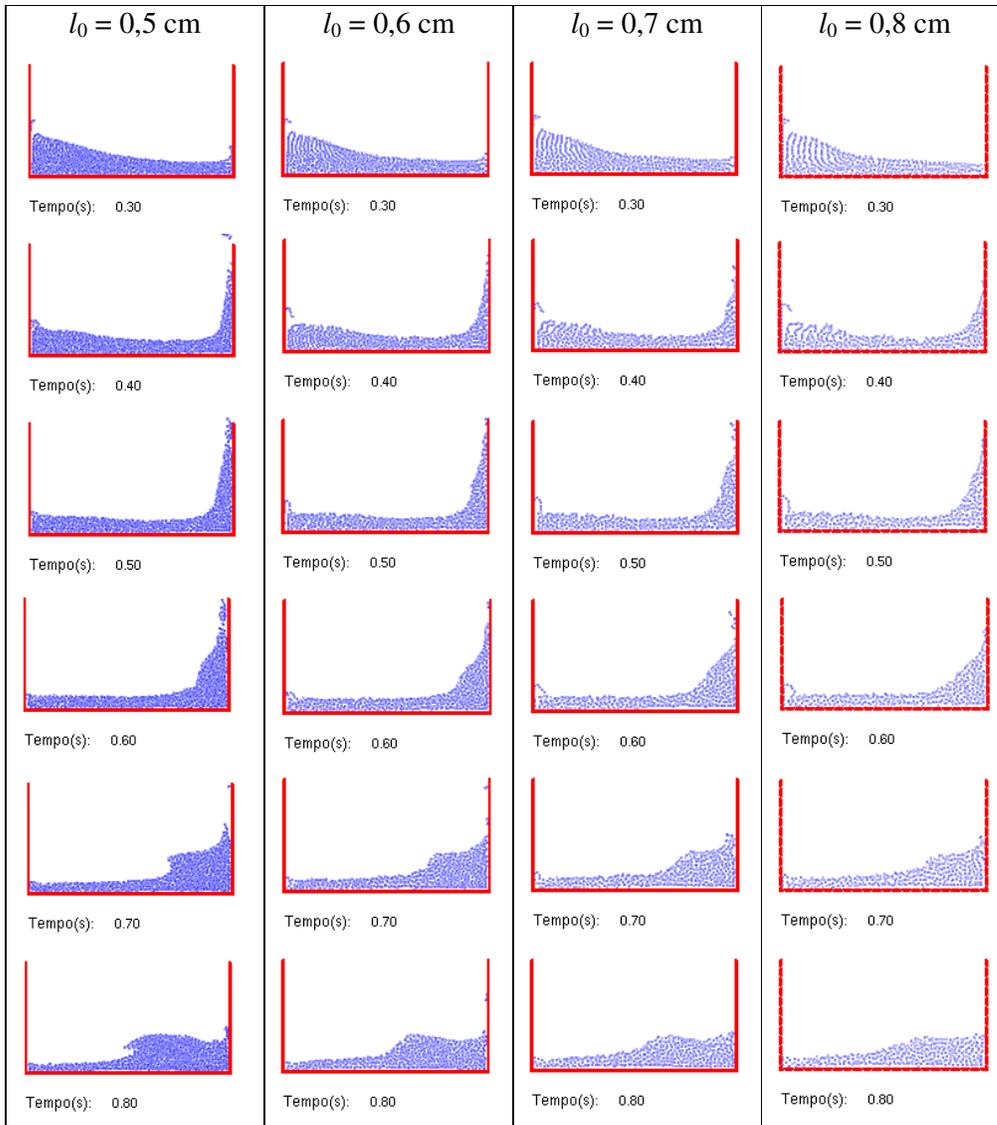


Figura 41 – Influência do número de partícula na simulação do problema de quebra de barragem utilizando-se o método SPH. O escoamento já atingiu a parede vertical da direita.